



CAMPUS THE STUDENT HOTEL

Lungo Dora Firenze, Torino

COMMITTENTE

THE STUDENT HOTEL

TSH Turin PropCo S.r.l.
Via Ludovisi, 45 - 00187 Roma

PROGETTAZIONE E COORDINAMENTO:



tectoo

TCTOO S.r.l. - Arch. Susanna Scarabicchi
Viale Italia, 572 - 20099 Sesto San Giovanni (MI)

Arrivo: AOO 055, N. Prot. 00001407 del 07/06/2022



PROGETTO ARCHITETTONICO
TCTOO S.r.l.
Viale Italia, 572 - 20099 Sesto San Giovanni (MI)
Arch. Susanna Scarabicchi



IMPIANTI E ACUSTICA
E.S.A. ENGINEERING S.r.l.
Piazza San Sepolcro, 1 - 20123 Milano
Ing. Francesco Gori



STRUTTURE
MILAN INGEGNERIA S.r.l.
Via Thaon di Revel, 21 - 20159 Milano
Ing. Maurizio Milan



Studio Bossolano

URBANISTICA
STUDIO BOSSOLANO S.r.l.
Via Villa Gori, 11/b - 10133 Torino
Arch. Ubaldo Bossolano



COST MANAGEMENT
B&B PROGETTI S.r.l.
Via L.B. Alberti, 12 - 20149 Milano
Arch. Ing. Giampiero Brioni



www.erikasabbar.com

LANDSCAPE PLANNING
ERIKA SKABAR
Via Campo Marzio, 4 - 34123 Trieste
Arch. Erika Skabar



AMBIENTE E ACUSTICA
MONTANA S.p.a.
Via A.Fumagalli, 12 - 20143 Milano
Ing. Santina Maddè



ENGINEERING

PREVENZIONE INCENDI
GAE ENGINEERING S.r.l.
Corso Marconi, 20 - 10125 Torino
Ing. Giuseppe Amaro



LIGHT DESIGN
VOLTAIRE LIGHT DESIGN
Via F. Brioschi, 26 - 20136 Milano
Arch. Jacopo Acciari



studio idrogeotecnico

GEOLOGIA E IDRAULICA
STUDIO IDROGEOTECNICO S.r.l.
Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano
Dott. geol. Efrem Ghezzi



STUDIO VIABILISTICO
TRM Engineering srl con socio unico
Via Giuseppe Ferrari, 39 - 20900 Monza
Dott. Paolo Galbiati

PIANO ESECUTIVO CONVENZIONATO

Indagini Geofisiche

Data **Settembre 2020**

Descrizione **Seconda emissione**

Revisione **01**

Scala ---

TSH
Codice Commessa

TSH
Codice Opera

PEC
Livello di Progettazione

N
Disciplina

APG
Competenze

002
Tipo

006
Elaborato

01
Revisione

REGIONE PIEMONTE
CITTÀ METROPOLITANA DI TORINO

Comune di Torino



RAPPORTO TECNICO

OGGETTO

Indagini geofisiche con metodologia elettromagnetica e georadar
presso un'area denominata Ponte Mosca sita in Torino (TO)
tra Via Aosta, Lungo Dora Firenze, C.so G. Cesare e C.so Brescia

Tecnico

Dott. Geol. Luca Filieri
Isr. Ordine dei Geologi del Piemonte n. 566



Luca Filieri

- gennaio 2020 -

STUDIOAPOGEO

Ambiente e Territorio

Copia del documento originale con apposizione del protocollo

Indagini geofisiche con metodologia elettromagnetica e georadar
Area Ponte Mosca – Comune di Torino (TO)
Rapporto tecnico

INDICE

1	<i>Premessa</i>	3
2	<i>Indagini geofisiche svolte</i>	4
3	<i>Individuazione del Canale Ceronda</i>	9
4	<i>Conclusioni</i>	11

ALLEGATI

- ❖ *Tavole indagini geofisiche*
- ❖ *Cenni teorici sulle indagini geofisiche*

1 Premessa

In data 26 e 29 novembre 2019 presso un'area denominata "Ponte Mosca" sita in Torino tra Via Aosta, Lungo Dora Firenze, C.so Giulio Cesare e C.so Brescia, sono state eseguite, con la collaborazione della società Techgea S.r.l., le seguenti indagini geofisiche:

- ❖ **indagine elettromagnetica** (FDEM, Frequency Domain Electromagnetic Method), con il duplice scopo di individuare strutture ed oggetti metallici interrati, potenzialmente attribuibili a ordigni bellici inesplosi, e verificare l'esatta ubicazione del Canale Ceronda, oggi interrato, che dovrebbe attraversare diagonalmente il sito in esame;
- ❖ **indagine georadar** (GPR, Ground Penetrating Radar), ad integrazione della precedente, effettuata all'interno dell'area con solette in c.a., dove il metodo elettromagnetico risulterebbe troppo disturbato.



Figura 1.1 - Immagine satellitare con indicazione dell'area "Ponte Mosca" (poligono rosso)

L'individuazione di strutture ed oggetti metallici interrati, potenzialmente attribuibili ad ordigni metallici inesplosi, si è resa necessaria in quanto il sito in studio è stato oggetto di bombardamenti durante il secondo conflitto mondiale, come evidenziato in Fig. 1.2.

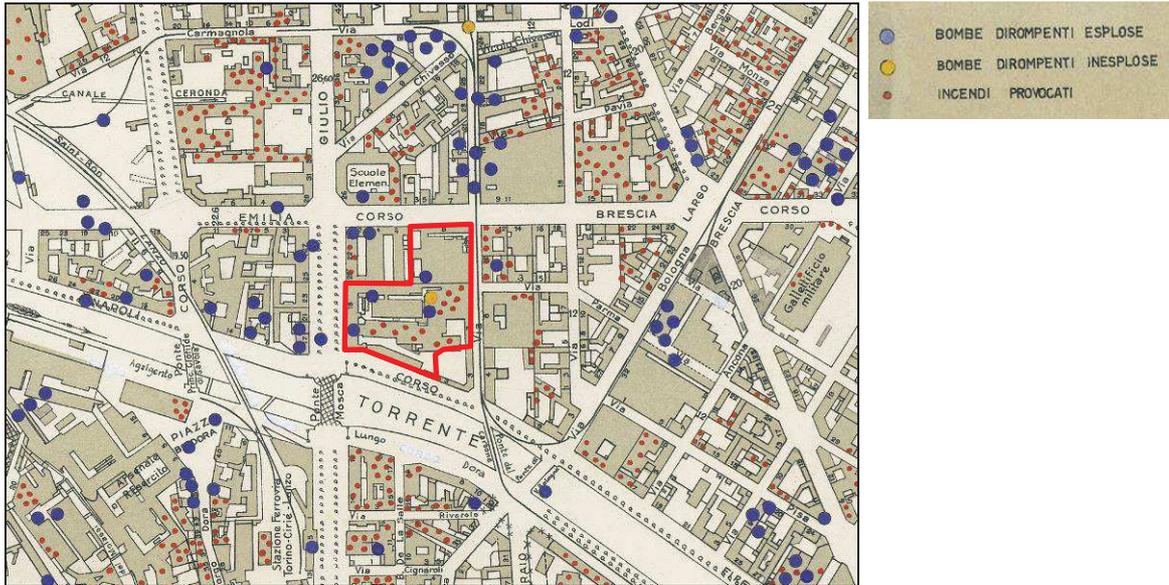


Figura 1.2 - Estratto della cartografia delle bombe e degli ordigni incendiari lanciati con indicazione dell'area in studio (poligono rosso) (da Bombe e mezzi incendiari lanciati 1:5000, 1942-1945. Zona 3: Borgo Dora - Valdocco - Aurora - Borgo Rossini - Gasometro. ASCT, Tipi e disegni, cart. 68, fasc. 1 disegno 3, quadrante 3. © Archivio Storico della Città di Torino).

2 Indagini geofisiche svolte

2.1 Ubicazione indagini

L'ubicazione delle indagini è riportata in Fig. 2.1 e, in dettaglio, in Tav. 1 in allegato. Si evidenzia che nella figura seguente è riportata anche l'ubicazione dei sondaggi geognostici realizzati per il prelievo di campioni di terreno da sottoporre ad analisi chimiche di laboratorio al fine di verificare lo stato di qualità ambientale dell'area.



Figura 2.1 – Ubicazione indagini geofisiche

Il rilievo elettromagnetico ha interessato l'intero sito in esame, compatibilmente con la vegetazione presente in particolare lungo il limite occidentale dell'area. L'areale complessivamente investigato ha un'estensione pari a 9.860 mq; il rilievo è stato condotto eseguendo linee di misura parallele con interasse pari a 1,0 m; il passo di acquisizione lungo ogni linea è di circa una misura ogni 40 cm circa. In totale sono stati acquisiti 24.240 punti di misura (punti arancioni in Fig. 2.1 e Tavola 1).

Nell'area con estensione di circa 1100 mq che ospita la soletta in cemento armato è stato effettuato un rilievo con metodologia georadar in quanto la presenza della rete metallica elettrosaldata avrebbe potuto disturbare il segnale elettromagnetico, precludendone l'attendibilità.

A tale scopo è stato condotto un rilievo georadar con maglia di acquisizione 0,5×0,5 m, attraverso l'esecuzione di n. 150 profili (linee di colore azzurro in Fig. 2.1 e Tavola 1), per un totale di 4.473 metri lineari di acquisizione.

2.2 Cenni sui metodi di indagine e sulla strumentazione utilizzata

I sistemi elettromagnetici in dominio di frequenza (FDEM) consentono di acquisire una fitta maglia di misure di conducibilità elettrica e suscettività magnetica del sottosuolo; tali parametri fisici sono influenzati dalle caratteristiche litologiche del sottosuolo e da "anomalie" generate dalla presenza di corpi estranei. L'interpolazione dei punti rilevati consente la costruzione di mappe orizzontali dei valori misurati, le cui anomalie (picchi di valori) possono essere associabili ad oggetti metallici interrati (quali gli ordigni bellici interrati). La profondità di indagine è rapportata alla dimensione degli oggetti da ricercare, ma raggiunge generalmente i 2-3 metri dal piano campagna.

Per lo scopo dell'indagine è stato utilizzato l'elettromagnetometro *Profiler EMP-400* (GSSI Instruments, USA – cfr. Fig. 2.2), un sistema multifrequenza in grado di generare un campo elettromagnetico in frequenza (secondo tre frequenze diverse, rispettivamente pari a 5 kHz, 9 kHz e 15 kHz) e di acquisire il campo EM secondario generato dal terreno e dagli oggetti immediatamente vicini all'antenna, sul quale hanno influenza le caratteristiche litologiche dei materiali in posto, e soprattutto eventuali oggetti metallici superficiali ed interrati.

5



Figura 2.2 – Elettromagnetometro Profiler EMP-400

I dati misurati vengono opportunamente elaborati e localizzati secondo la seguente procedura:

- *Despiking* per eliminare singoli valori anomali non realistici;
- Omogeneizzazione dei valori mediante sottrazione del valore medio troncato (20%) di conducibilità elettrica e suscettività magnetica apparenti per ciascuna sub-area, al fine di eliminare le differenze dovute a variazioni di temperatura e umidità tra le varie sub-aree;
- *Contouring* (mediante l'utilizzo del software *Surfer 13 – Golden Software, US*) e generazione di mappe di conducibilità elettrica e suscettività magnetica apparenti.

L'indagine georadar è stata condotta utilizzando l'unità di controllo e acquisizione di segnali radar *Hi-MOD (IDS, Italia – cfr. Fig. 2.3)* con un'antenna da 400 MHz di frequenza per ottenere un buon dettaglio degli strati più superficiali (fino a circa 2,5-3 m di profondità in condizioni stratigrafiche ottimali) abbinata ad una seconda antenna da 900 MHz per concentrare il dettaglio nel primo metro di profondità.



Figura 2.3 – Georadar Hi-MOD

Le sezioni radar sono state opportunamente localizzate ed elaborate mediante il software *GREED 3D CAD v. 02.01.023 (IDS, Italia)*.

Al fine di localizzare le indagini eseguite, gli oggetti metallici e le strutture riscontrati in superficie è stato utilizzato un sistema GPS topografico differenziale *Leica Viva GNSS GS14* collegato alla Rete GNSS Piemonte/Lombardia.

Cenni teorici relativi alle metodologie di indagine eseguite sono riportati in allegato.

2.2.1 Potenziali limiti dell'indagine elettromagnetica per l'individuazione di ordigni bellici interrati

Il metodo elettromagnetico, sulla base di quanto descritto in precedenza, consente l'individuazione di strutture ed oggetti metallici interrati in quanto questi determinano delle risposte all'impulso elettromagnetico che permettono di distinguerli dal materiale (naturale o riporto) che li contiene.

Tuttavia si sottolineano alcuni fattori che potrebbero influenzare il riconoscimento e la corretta attribuzione delle anomalie emerse:

- presenza di cavidotti elettrici interrati o aerei (in particolare se ad alta tensione).
La corrente elettrica che circola all'interno di un cavidotto provoca un campo elettromagnetico che può interferire con quello generato dall'elettromagnetometro. Trattandosi di un campo con andamento pseudo-sinusoidale e variabile nel tempo e nello spazio non è possibile in alcun modo filtrarne l'effetto di disturbo;

- presenza di oggetti e strutture metalliche in superficie.
La presenza di tombini, recinzioni, solette e muri in c.a., automezzi in sosta, ecc. determinano delle anomalie (falsi positivi o negativi) che non consentono di escludere la presenza di potenziali ordigni inesplosi al disotto degli stessi;

- presenza nel primo sottosuolo di materiali di riporto di varia natura.
Nelle aree interessate da precedenti urbanizzazioni è comune la presenza di un livello superficiale in parte costituito dalle macerie derivanti dalla distruzione dei fabbricati preesistenti; qualora all'interno di questi materiali ci siano anche resti di cemento armato e/o elementi metallici in genere, l'indagine elettromagnetica evidenzierà numerose anomalie di incerta attribuzione.

2.3 Risultati indagini

2.3.1 Indagine elettromagnetica

I risultati del rilievo elettromagnetico sono riportati in termini di mappe di conducibilità elettrica (Tav. 2) e suscettività magnetica (Tav. 3) apparenti.

I valori sono definiti "apparenti" in quanto si riferiscono ad un valore medio lungo la verticale in ciascun punto di misura e, pertanto, non vanno intesi in termini assoluti ma unicamente in senso relativo, al fine di individuare eventuali aree o punti anomali. Al tempo stesso un oggetto metallico colpito da un campo elettromagnetico (primario), genera a sua volta un campo elettromagnetico (secondario) e determina valori anomali della conducibilità elettrica che possono essere molto elevati o molto bassi (fortemente negativi). Questo fenomeno è dovuto alla tipica forma "a farfalla" che caratterizza un campo elettromagnetico. La mappa di suscettività apparente indica il grado di polarizzazione magnetica di un materiale in seguito all'applicazione di un campo magnetico.

Delle tre frequenze acquisite con l'elettromagnetometro, è stato scelto di rappresentare le mappe relative ai dati acquisiti alla frequenza di 9 kHz, in quanto più stabili della componente in quadratura del segnale misurato.

Nelle mappe riportate in allegato (Tav. 2 e 3), la porzione grigia (in varie tonalità) corrisponde al valore di fondo sito-specifico, ossia al valore medio troncato per ciascuna sub-area di indagine.

In linea generale emerge un andamento sostanzialmente irregolare di entrambi i parametri geofisici rilevati: ne consegue, quindi, che buona parte dell'area in oggetto è caratterizzata dalla presenza di un livello superficiale contenente macerie e resti di varia natura (anche metallici), verosimilmente correlati alle attività di demolizione dei preesistenti fabbricati.

Le numerose anomalie emerse (sia positive che negative) sono state suddivise in due gruppi fondamentali:

1) anomalie di conducibilità elettrica e/o suscettività magnetica generate da oggetti metallici o strutture in cemento armato evidenti in superficie o interrato note (poligoni di colore nero nelle Tavole 2 e 3):

- tombini, idranti e pali della luce;
- recinzioni metalliche;
- basamenti e solette in cemento (di cui una molto estesa di forma circolare, oggetto dell'indagine georadar);
- probabili tubazioni interrate (anomalie rettilinee indicate con linee tratteggiate di colore nero).

2) Anomalie di conducibilità elettrica e/o suscettività magnetica non generate da alcun elemento metallico noto (poligoni di colore rosso nelle Tavole 2 e 3). Non è possibile attribuire la natura di tali anomalie né determinare la potenziale presenza di ulteriori oggetti metallici sottostanti.

2.3.2 Indagine georadar

L'indagine georadar ha interessato un'area di estensione pari a circa 1100 mq, caratterizzata dalla presenza di una soletta in cemento armato. I risultati ottenuti sono riportati in allegato nelle Tavole 4 e 5 in termini di mappe orizzontali di risposta del segnale georadar (*time slices*), ottenute sezionando a differenti profondità il modello tridimensionale generato dall'interpolazione di tutte le sezioni georadar eseguite.

Si evidenziano n. 4 tipologie di anomalie principali:

1) anomalie lineari attribuibili a tubazioni o cavidotti interrati (linee tratteggiate di colore nero);

2) Anomalie areali che per forma, profondità ed estensione possono essere attribuite ad oggetti o strutture interrate note (poligoni di colore nero):

- rete elettrosaldata di armatura;
- probabili vuoti e/o dimensionamenti al disotto della soletta in c.a.;

3) Anomalie areali che per forma, profondità ed estensione possono essere attribuite alle strutture fondazionali dei preesistenti fabbricati o simili (poligoni di colore viola);

4) Anomalie puntuali di ignota attribuzione (poligoni di colore magenta), verosimilmente generate da resti di strutture o oggetti interrati. A differenza del metodo elettromagnetico non è possibile definire il materiale di cui tali elementi interrati sono fatti.

3 Individuazione del Canale Ceronda

Uno degli obiettivi delle indagini geofisiche era quello di individuare il tracciato del Canale Ceronda, oggi totalmente interrato, che dovrebbe attraversare diagonalmente l'areale in esame.

I risultati ottenuti consentono di affermare che non vi sono evidenze di passaggi di condotte sotterranee potenzialmente ospitanti il Canale Ceronda. L'unico tratto lineare rinvenuto riconducibile ad una tubazione interrata di una certa rilevanza è quello evidenziato in Fig. 3.1, che presenta direttrice circa NW-SE, ma non ha un andamento continuo nell'areale d'indagine in quanto si interrompe in corrispondenza della parte esterna della soletta in c.a..

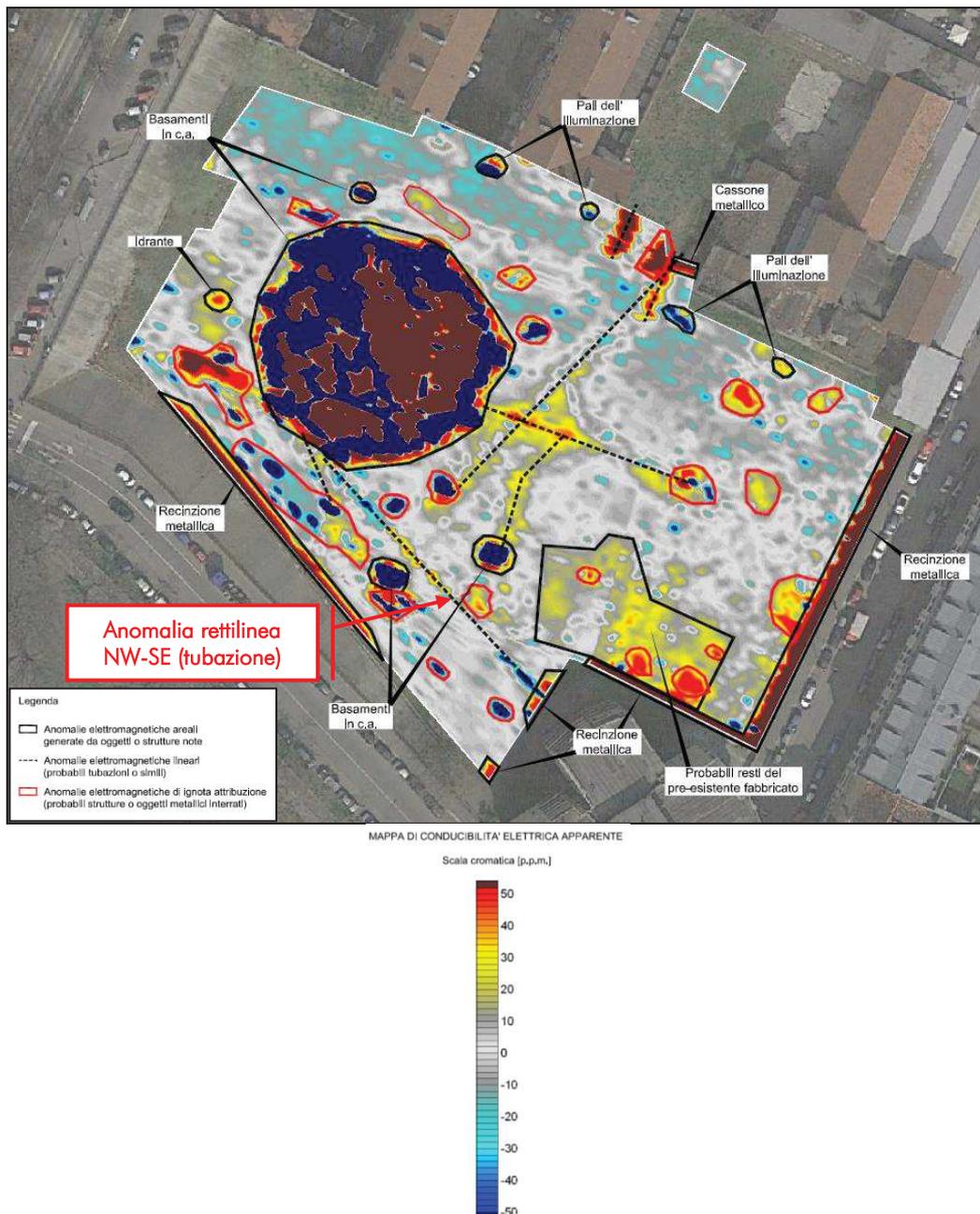


Figura 3.1 – Mappa di conducibilità elettromagnetica apparente

Copia del documento originale con apposizione del protocollo

Indagini geofisiche con metodologia elettromagnetica e georadar
Area Ponte Mosca – Comune di Torino (TO)
Rapporto tecnico

I risultati ottenuti non consentono di determinare l'eventuale presenza del Canale Ceronda nel sito in esame fino ad una profondità di circa 4,00 m dall'attuale p.c. (profondità massima raggiungibile con il metodo elettromagnetico nell'intorno in ogni singolo punto investigato).

La mancata individuazione del canale potrebbe essere legata ad una duplice causa:

- 1) il Canale Ceronda potrebbe essere ubicato ad una profondità superiore ai 4 m dall'attuale quota del piano campagna dell'areale oggetto di indagine (ipotesi comunque inverosimile in quanto non ci sarebbero corrispondenze con la quota del pelo libero dell'acqua del vicino F. Dora Riparia);
- 2) il Canale Ceronda potrebbe essere ospitato in materiale realizzato in laterizio e non in cemento armato e, pertanto, non è individuabile tramite il metodo elettromagnetico, in quanto non consente di registrare anomalie di conducibilità.

4 Conclusioni

L'indagine elettromagnetica ha evidenziato che buona parte dell'area in oggetto è caratterizzata dalla presenza di un livello superficiale contenente macerie e resti di varia natura (anche metallici), verosimilmente correlati alle attività di demolizione dei preesistenti fabbricati.

Inoltre l'indagine elettromagnetica ha permesso di rilevare numerose anomalie, suddivise in due gruppi fondamentali:

1) anomalie di conducibilità elettrica e/o suscettività magnetica generate da oggetti metallici o strutture in cemento armato evidenti in superficie o interrate note:

- tombini, idranti e pali della luce;
- recinzioni metalliche;
- basamenti e solette in cemento (di cui una molto estesa di forma circolare, oggetto dell'indagine georadar);
- probabili tubazioni interrate (anomalie rettilinee).

2) Anomalie di conducibilità elettrica e/o suscettività magnetica non generate da alcun elemento metallico noto. Non è possibile attribuire la natura di tali anomalie né determinare la potenziale presenza di ulteriori oggetti metallici sottostanti.

L'indagine georadar ha evidenziato n. 4 tipologie di anomalie principali:

11

1) anomalie lineari attribuibili a tubazioni o cavidotti interrati;

2) Anomalie areali che per forma, profondità ed estensione possono essere attribuite ad oggetti o strutture interrate note:

- rete elettrosaldata di armatura;
- probabili vuoti e/o dimensionamenti al disotto della soletta in c.a.;

3) Anomalie areali che per forma, profondità ed estensione possono essere attribuite alle strutture fondazionali dei preesistenti fabbricati o simili;

4) Anomalie puntuali di ignota attribuzione, verosimilmente generate da resti di strutture o oggetti interrati. A differenza del metodo elettromagnetico non è possibile definire il materiale di cui tali elementi interrati sono fatti.

Al fine di avere un quadro completo delle anomalie di incerta attribuzione emerse, si riporta in Fig. 4.1 e in Tav. 6 in allegato l'ubicazione di tutte le anomalie maggiormente significative, risultanti dall'analisi degli esiti delle due differenti metodologie di indagine eseguite.

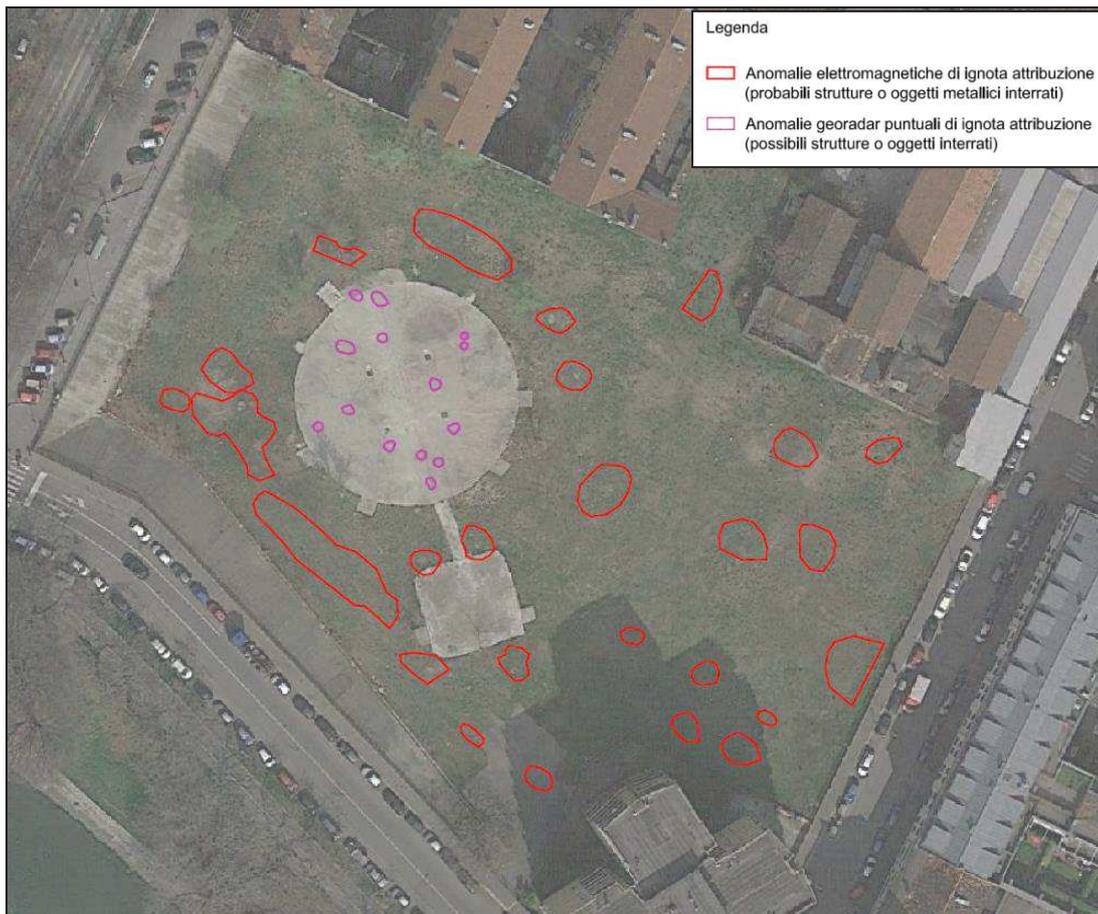


Figura 4.1 – Quadro di unione delle anomalie di incerta attribuzione

Nelle successive fasi progettuali potrebbe essere utile effettuare nuovamente le indagini geofisiche a seguito dell'asportazione del primo metro di terreno in quanto caratterizzato dalla presenza diffusa di macerie, per indagare il sottosuolo potenzialmente ospitante ordigni bellici.

Pertanto, sulla base delle risultanze delle indagini geofisiche condotte, non è possibile escludere la presenza nell'area in studio di oggetti metallici interrati, potenzialmente attribuibili a ordigni bellici inesplosi.



Dot. Geol. Luca FILIERI

Luca Filieri

LIMITAZIONI DI RESPONSABILITA'

Questo rapporto tecnico si basa sull'applicazione di conoscenze e leggi scientifiche riconosciute ma anche di calcoli e valutazioni professionali suscettibili di interpretazione.

Le stime e le considerazioni espresse in questa relazione sono basate su informazioni acquisite e/o disponibili al momento dell'indagine e sono strettamente condizionate dai limiti imposti dalla tipologia utilizzata, dalla consistenza dei dati utilizzabili nonché dal programma di lavoro concordato con il Cliente.

Le indagini geofisiche si basano su tecniche di esplorazione indiretta che, nonostante siano utilizzate allo stato dell'arte sia delle conoscenze scientifiche che degli avanzamenti tecnologici, hanno una serie di limitazioni intrinseche proprie di ogni metodo utilizzato. L'indagine geofisica non può e non deve sostituire integralmente l'esplorazione diretta anche se ne rappresenta un'indispensabile complemento per colmare le lacune informative e per garantire un'univoca correlazione dei principali elementi presenti nel sottosuolo indagato.

Questo rapporto si basa sulla conoscenza professionale degli attuali standard e codici, tecnologia e legislazione dell'Unione Europea. Modifiche e aggiornamenti di quanto sopra citato potrebbero rendere inappropriate o scorrette le raccomandazioni, indicazioni e conclusioni stilate nel testo.

Le conclusioni ed i suggerimenti operativi contenuti nella presente relazione vanno intesi come proposte di intervento e non come azioni vincolanti, salvo ciò non sia specificatamente indicato. Si tiene a precisare che le valutazioni contenute in questo rapporto sono state elaborate da tecnici e pertanto rivestono un carattere esclusivamente tecnico, non costituendo in alcun modo parere legale.

Gli Autori rispondono unicamente al Committente circa la corrispondenza del rapporto emesso, in ordine agli obiettivi delle ricerche definite nell'ambito dell'incarico e non possono farsi carico di responsabilità per danni, rivendicazioni, perdite, azioni o spese, qualora subite anche da terzi, come risultato di decisioni prese o azioni condotte e basate sul rapporto stesso.

Arrivo: AOO 055, N. Prot. 00001407 del 07/06/2022

ALLEGATI

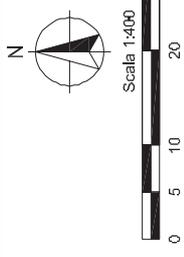
Arrivo: AOO 055, N. Prot. 00001407 del 07/06/2022

Tavole indagini geofisiche

File: Lungo Dove Firenze, Torino
Data: Novembre 2018

Revisioni: 0
Tavola: 1

- Legenda
- Area di indagine elettromagnetica
 - Punti di misura indagine elettromagnetica
 - Area di indagine georadar
 - Traccia sezioni georadar
 - Sondaggi geognostici



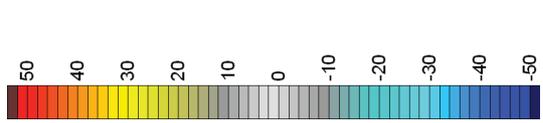
Indagini geofisiche finalizzate alla ricerca di strutture ed oggetti metallici interrati del 07/06/2022



Copia del documento originale con apposizione del protocollo

MAPPA DI CONDUcIBILITA' ELETTRICA APPARENTE

Scala cromatica [p.p.m.]

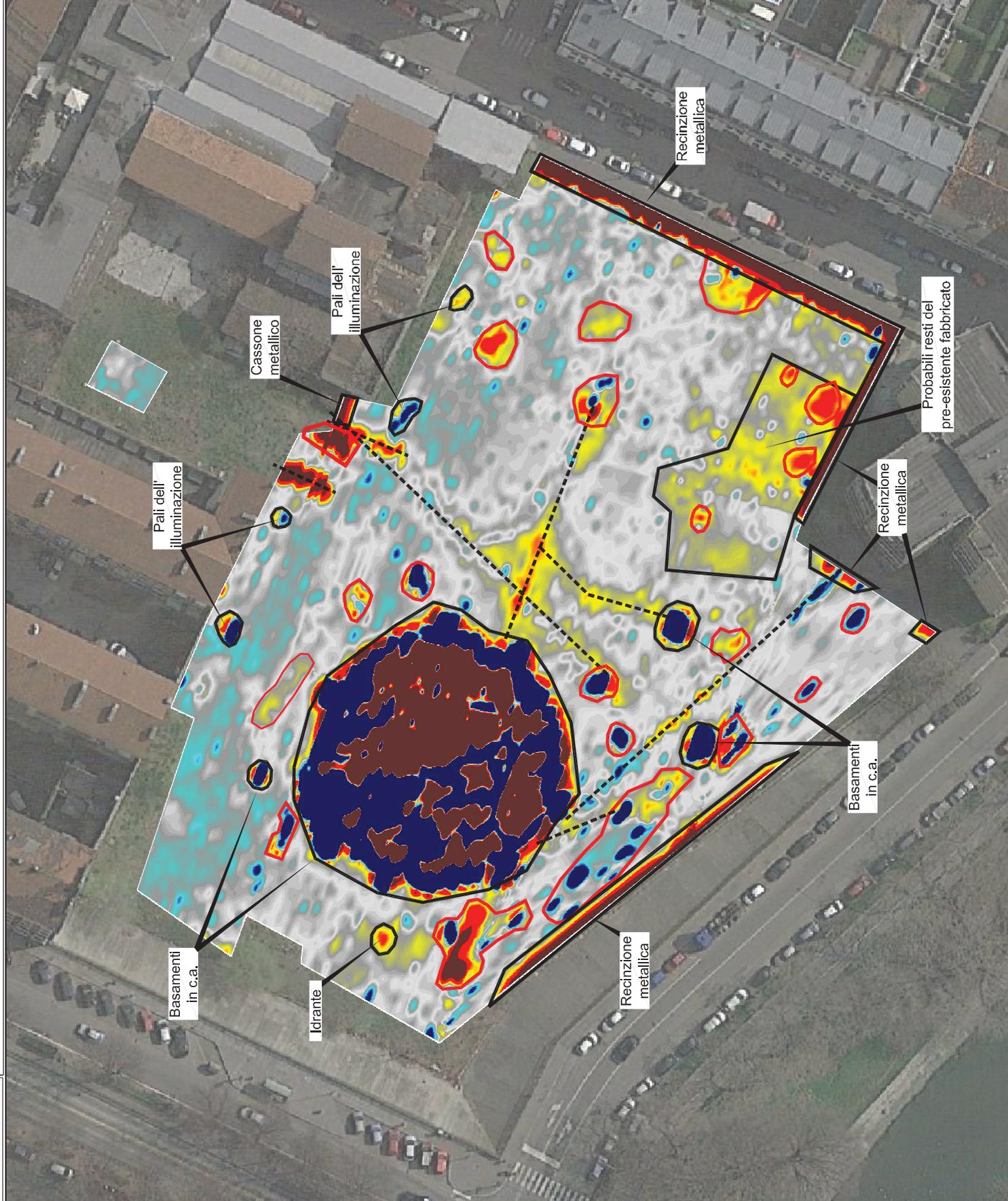


Legenda

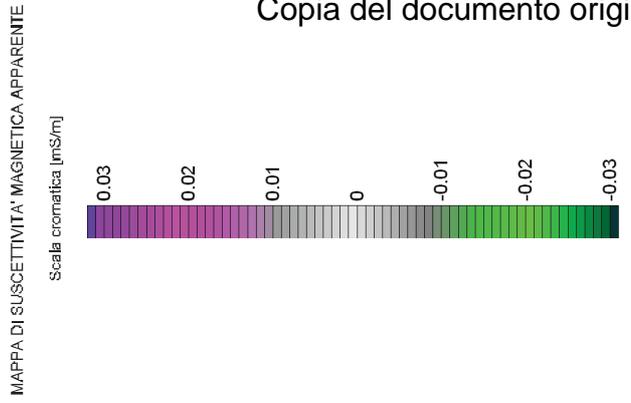
- Anomalie elettromagnetiche areali generate da oggetti o strutture note
- - - - Anomalie elettromagnetiche lineari (probabili tubazioni o simili)
- Anomalie elettromagnetiche di ignota attribuzione (probabili strutture o oggetti metallici interati)



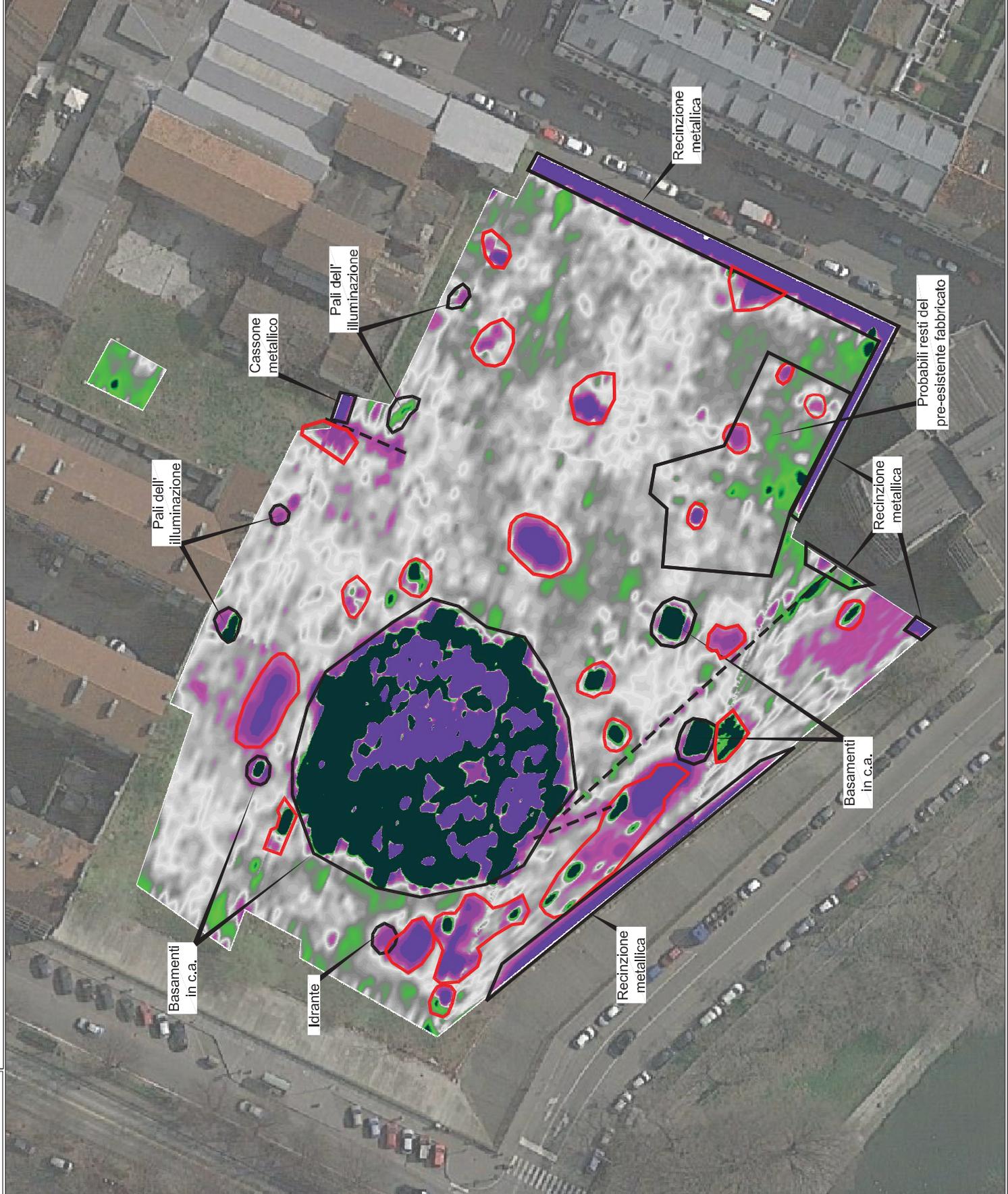
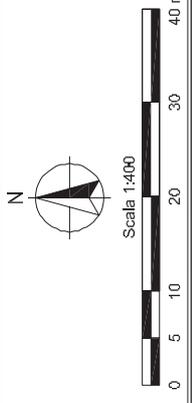
Scala 1:400



Copia del documento originale con apposizione del protocollo



- Legenda
- Anomalie elettromagnetiche areeali generate da oggetti o strutture note
 - Anomalie elettromagnetiche lineari (probabili tubazioni o simili)
 - Anomalie elettromagnetiche di ignota attribuzione (probabili strutture o oggetti metallici interati)

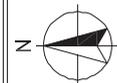


File: Lungo Dove Firenze, Torino
Data: Novembre 2018

Revisioni: 0
Tavola: 4

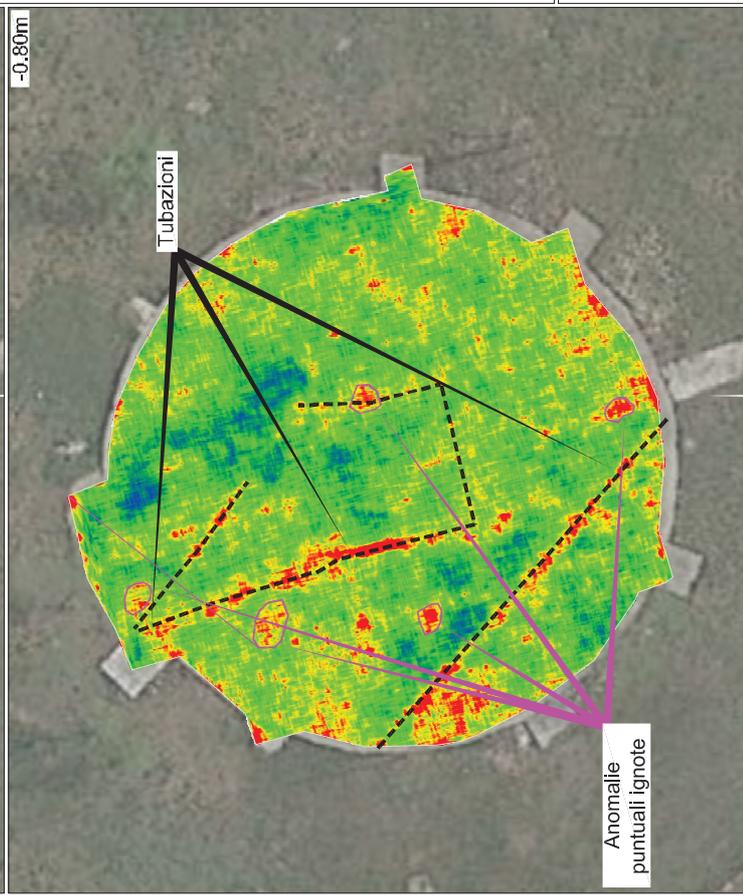
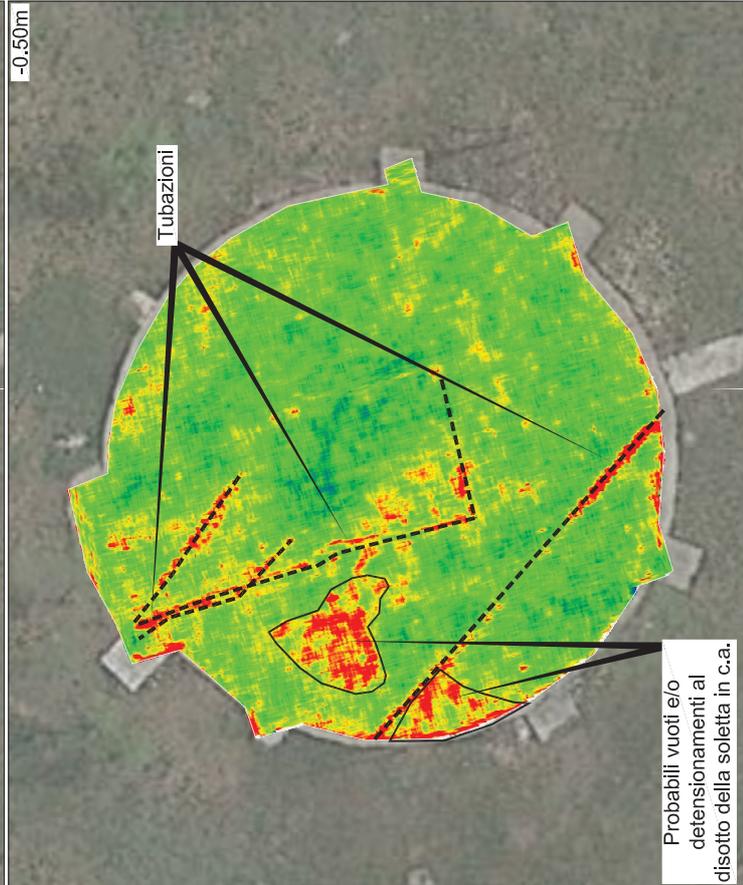
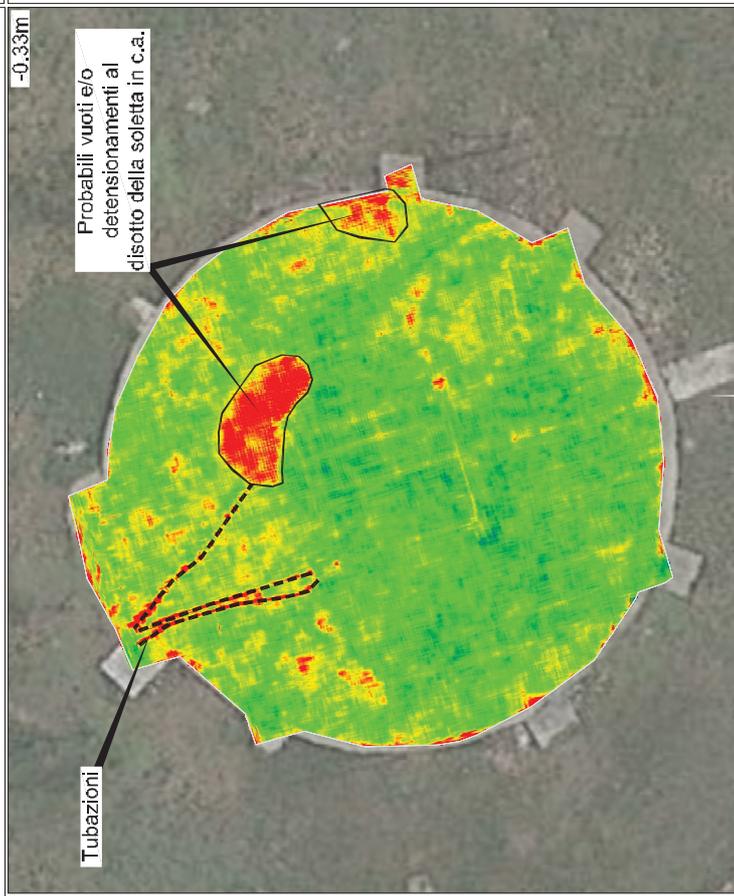
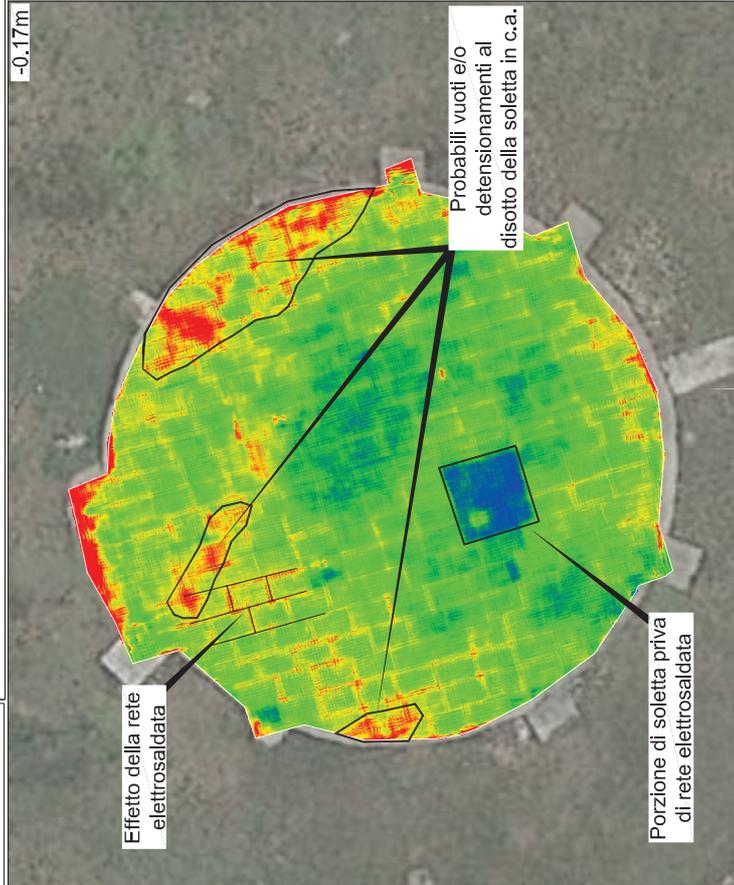
Legenda

-  Anomale georadar areali
-  Probabili tubazioni
-  Probabili strutture fondazionali degli edifici pre-esistenti (o simili)
-  Anomale georadar puntuali di ignota attribuzione (possibili strutture o oggetti interrati)



Indagini geofisiche finalizzate alla ricerca di strutture e oggetti interrati. Progetto n. 00001407 del 07/06/2022

Arriyo: AQQ_055_N_ricerca di strutture e oggetti interrati. Stato dell'indagine georadar: Fine-slices (1 di 2)

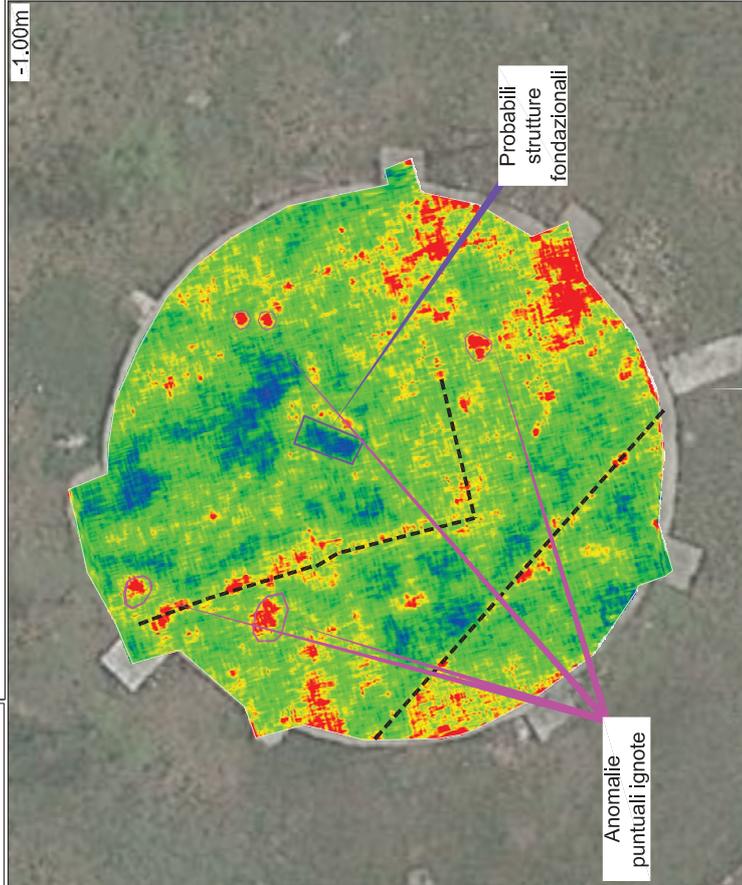
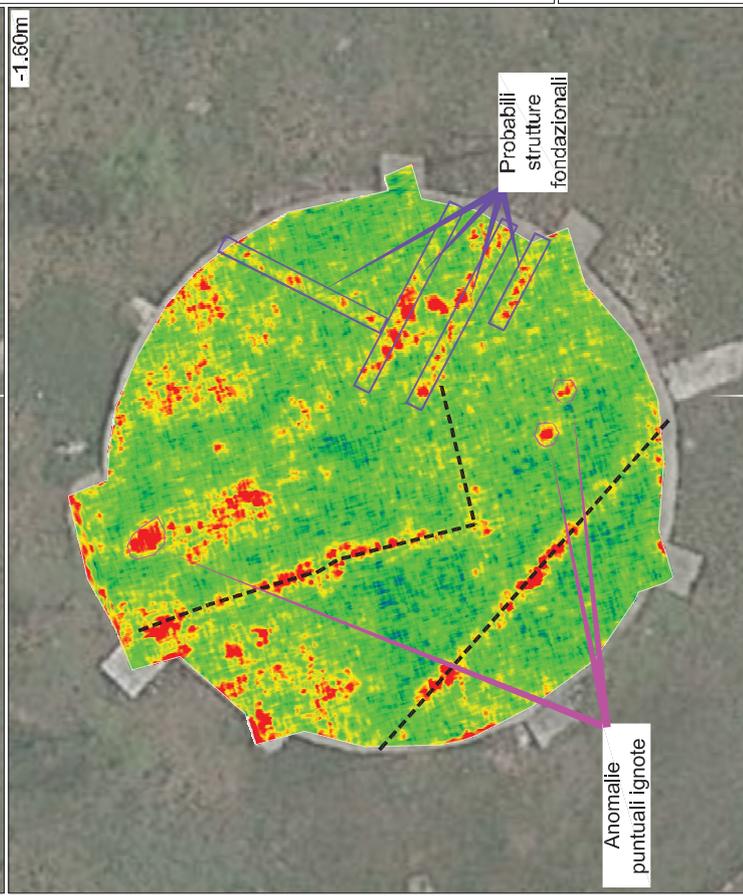
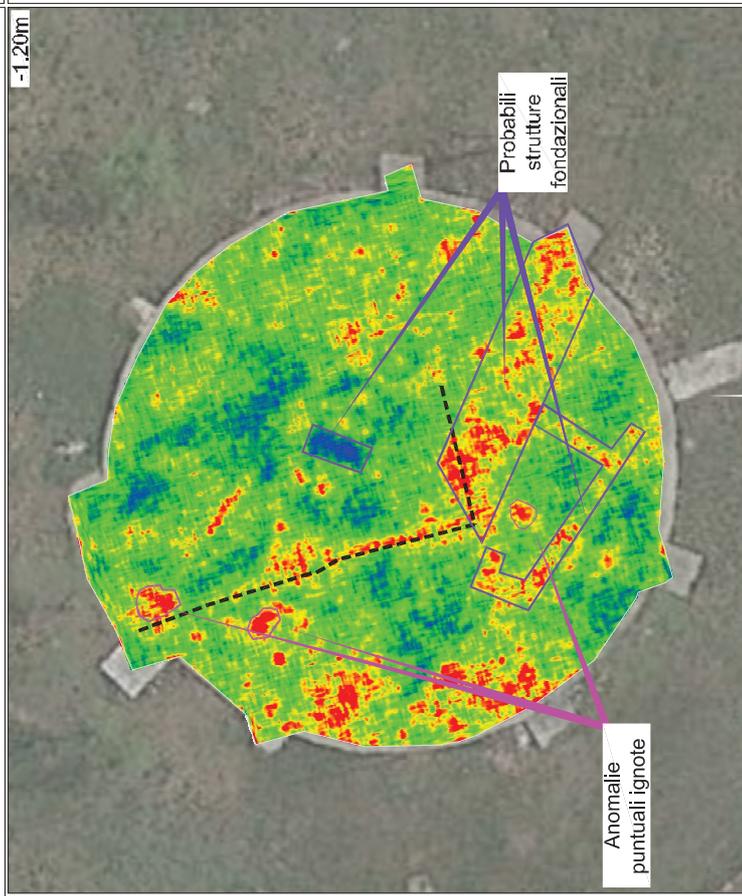
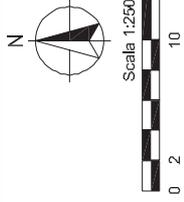


Indagini geofisiche finalizzate alla ricerca di strutture e oggetti metallici in sito dell'Indagine georadar - slices (2 di 2)



File: Lungo Dove Firenze, Tullio
Data: Novembre 2018
Revisioni: 0
Tavola: 9

- Legenda
- Anomalia georadar areali
 - Probabili tubazioni
 - Probabili strutture fondazionali -slegli edifici pre-esistenti (o simili)
 - Anomalia georadar puntuali di ignota attribuzione (possibili strutture o oggetti interrati)



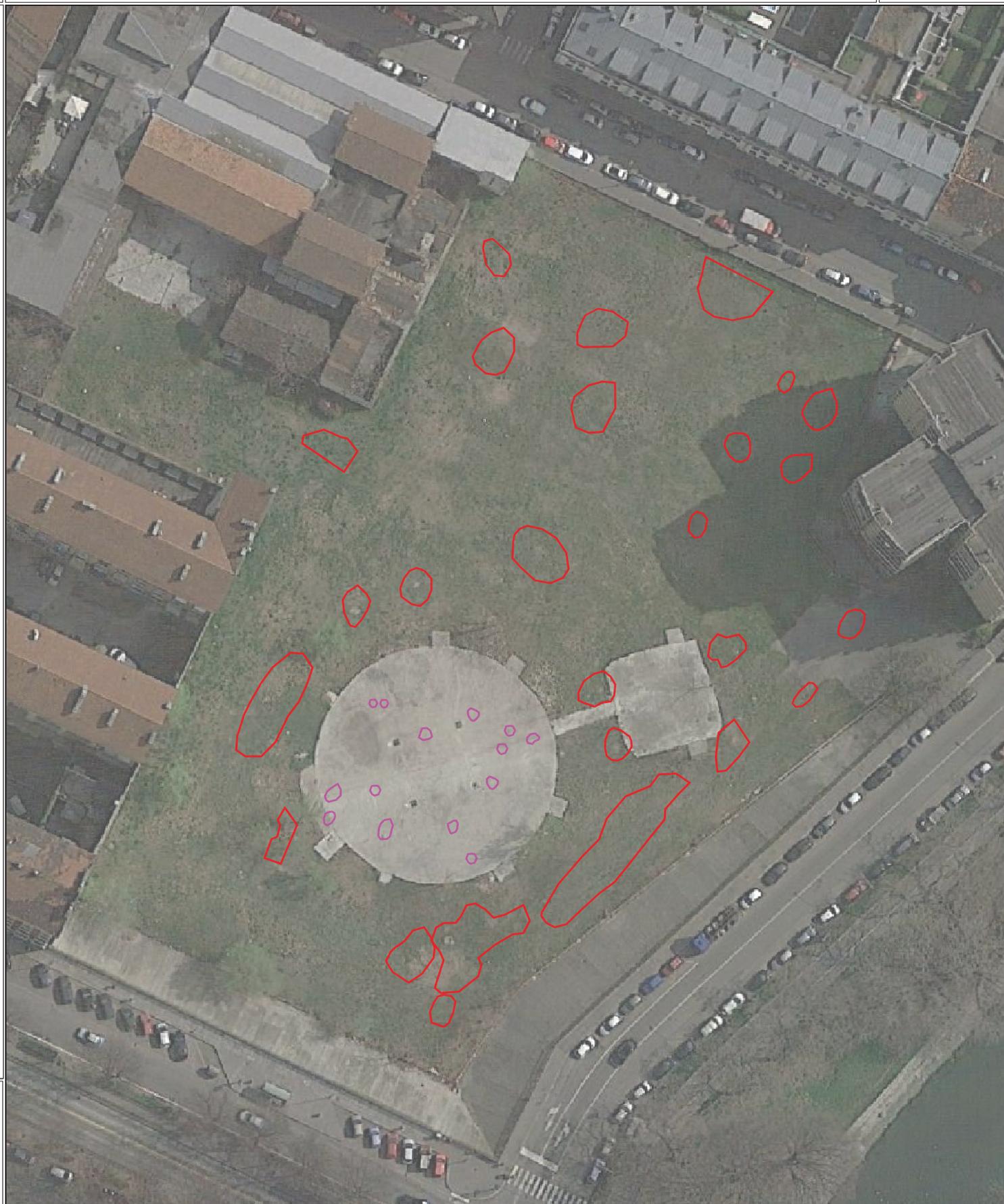
Filic.: Luengo Devis Firenze, Tapiro
Data: Novembre 2018
Foglio: 01
Tavola: 6

Legenda

- Anomalie elettromagnetiche di ignota attribuzione (probabili strutture o oggetti interrati)
- Anomalie georadar puntuali di ignota attribuzione (possibili strutture o oggetti interrati)



Indagini geofisiche finalizzate alla ricerca di strutture metalliche interrati e anomalie elettromagnetiche di ignota attribuzione emerse
Arrivo: 09/06/2022
Prot. 00001407 del 07/06/2022
Cadastrale: 00001407 del 07/06/2022



Arrivo: AOO 055, N. Prot. 00001407 del 07/06/2022

Cenni teorici sulle indagini geofisiche

Cenni teorici sulle indagini elettromagnetiche FDEM

I metodi elettromagnetici (EM) includono tecniche geofisiche comunemente utilizzate in indagini del sottosuolo per scopi ambientali, geotecnici o idrogeologici. Il metodo si basa sulla misura delle variazioni localizzate del Campo Magnetico Terrestre (CMT) e/o del suo gradiente. I parametri fisici che influenzano il campo magnetico sono la suscettività magnetica e la magnetizzazione residua. La suscettività magnetica indica l'attitudine di un materiale a magnetizzarsi in presenza di un campo magnetico inducente; ai fini della prospezione essa può essere considerata una grandezza scalare. La magnetizzazione residua è la magnetizzazione acquisita da un corpo al momento della sua formazione; è una grandezza vettoriale che si somma in intensità e direzione al vettore di magnetizzazione indotta.

Le variazioni magnetiche (o anomalie) misurate riflettono il contrasto di suscettività tra le strutture antropiche da individuare e le rocce o i terreni che le contengono. Il contrasto di suscettività è tanto più forte quanto più è elevato il contenuto di minerali ferro-magnetici nelle strutture anomale di interesse o viceversa nei terreni incassanti; in quest'ultimo caso le anomalie presentano una polarità inversa.

Principalmente si riconoscono quindi due tipologie di indagini elettromagnetiche EM: la prima, basata sul dominio di frequenza, misura l'ampiezza e la fase di un campo elettromagnetico indotto (FDEM); la seconda, basata sul dominio di tempo, misura il tempo di decadimento dell'impulso elettromagnetico indotto da una trasmittente (TDEM).

Il metodo elettromagnetico in dominio di frequenza è impiegato in differenti campi di applicazione:

- indagini ambientali del sottosuolo (mappatura di discariche abusive o rifiuti/bidoni interrati);
- ricerche archeologiche;
- caratterizzazione geologica del sottosuolo;
- localizzazione di tubazioni e strutture interrate in genere;
- caratterizzazione agronomica (tipologia suoli).

Le indagini elettromagnetiche in dominio di frequenza (FDEM) consentono di ottenere, in modo speditivo, delle mappe dei valori della variazione di fase e di ampiezza del campo elettromagnetico secondario rispetto al campo primario indotto. Il campo primario, generato da una sorgente naturale o da una corrente alternata artificiale, si propaga infatti nel terreno sottostante inducendo delle correnti nel semispazio conduttore. A loro volta, le correnti così prodotte generano un campo secondario che distorce il campo primario e che, differendo in intensità, fase e direzione da quest'ultimo, indica la presenza di conduttori nel sottosuolo. L'ampiezza delle correnti indotte in un corpo conduttore nel sottosuolo dipende da diversi fattori, ma principalmente dalle proprietà elettriche del sottosuolo e delle strutture interrate. Lo strumento fornisce i valori di conducibilità elettrica apparente del sottosuolo e della suscettività magnetica.

Il metodo di prospezione EM fa pertanto intervenire simultaneamente 3 processi fisici distinti:

- il passaggio di corrente alternata in una bobina trasmittente genera un campo magnetico H_p (campo magnetico primario) variabile con il tempo;
- il flusso del campo magnetico primario genera delle correnti indotte (correnti di Foucault) in tutti i conduttori sui quali esso agisce (suoli, rocce);
- le correnti indotte generano un campo magnetico secondario H_s , il quale, insieme al campo primario che si propaga direttamente attraverso l'aria, provoca il passaggio di corrente alternata in una bobina ricevente.

L'utilizzo di più frequenze consente d'individuare anomalie diverse prodotte da target di diversa natura. La profondità d'indagine è funzione della frequenza del campo primario, della conducibilità elettromagnetica del mezzo e della geometria e disposizione dell'anomalia da indagare rispetto alla sorgente del campo primario. Si analizza quindi la variazione in ampiezza e fase che un segnale (onda sinusoidale) subisce nell'attraversare mezzi a diversa conduttività.

Estraendo la componente in fase e la componente in quadratura di fase, si ha:

$$\text{In fase: } \operatorname{Re}\left(\frac{H_s}{H_p}\right) \cdot 10^6 \text{ [ppm]}$$

$$\text{In quadratura: } \operatorname{Im}\left(\frac{H_s}{H_p}\right) \cdot 10^6 \text{ [ppm]}$$

La componente in fase risulta sensibile ad oggetti metallici (fusti sepolti, tubazioni interrato ecc.). La componente in quadratura di fase è proporzionale alla conducibilità del mezzo indagato. Al tempo stesso la conduttività elettrica (l'inverso della resistività) dei suoli e delle rocce dipende inoltre dal grado di saturazione in acqua, dalla salinità dell'acqua contenuta nei pori della roccia, dalla composizione mineralogica, dalla presenza di metalli o contaminanti organici (benzina, gasolio, nafta ecc.).

I dati vengono acquisiti secondo la seguente procedura:

1. si traccia un'area di acquisizione (possibilmente rettangolare) che, opportunamente referenziata rispetto ad un sistema di coordinate note, viene suddivisa in una serie regolare di linee di misura (in funzione del dettaglio richiesto);
2. l'operatore seleziona e visualizza attraverso il menu di setup i parametri dello strumento relativi all'acquisizione dell'area;
3. l'operatore si posiziona sul primo punto di acquisizione (con coordinate $x = 0$, $y = 0$), attiva lo strumento e cammina con passo regolare lungo la prima linea di misura;
4. lo strumento esegue la misura il cui termine viene stabilito dall'operatore alla fine della linea;

5. dopo aver registrato i dati acquisiti sulla prima linea, l'operatore passa alla successiva e ripete le procedure di cui al punto 3);
6. al termine dell'acquisizione si ha come output una serie di punti a cui vengono attribuite le coordinate rispetto al sistema di riferimento locale, le componenti in quadratura, fase e conducibilità apparente per ogni frequenza indicata.

Gli strumenti elettromagnetici forniscono un valore relativo di conducibilità elettrica a partire dal confronto tra due campi magnetici (campo primario e campo indotto). E' evidente, quindi, che la presenza di campi elettromagnetici nella zona del rilievo possono essere fonte di disturbo.

La misura elettromagnetica, in particolare, è fortemente disturbata dalla presenza di:

- elettrodotti;
- motori elettrici di grosse dimensioni;
- accumuli di rottami metallici, recinzioni, autovetture ecc..

Esistono numerose soluzioni tecniche sul mercato, strumenti denominati Ground Conductivity Meters (GCM), che utilizzano due bobine di piccole dimensioni (Small-loop systems), una trasmittente ed una ricevente, affiancate secondo specifiche configurazioni e mantenute ad una distanza costante s (a seconda delle strumentazioni, compresa tra 0,75 m e 100 m).

Il Profiler EMP-400 (GSSI, USA) ha una spaziatura tra le bobine pari a 1,219 m e consente la misura simultanea fino a 3 frequenze definite dall'utente (in un range compreso tra 1 kHz e 16 kHz); la profondità massima di investigazione è pari a circa 5-6 m, in relazione alle caratteristiche del mezzo investigato. Sulla base di queste considerazioni, se gli eventuali obiettivi dovessero trovarsi in zone a profondità maggiore occorre approfondire l'indagine con indagini geofisiche di dettaglio (linee di tomografia elettrica) o direttamente con sondaggi geognostici.

Per l'elaborazione e rappresentazione dei dati elettromagnetici sono stati utilizzati i programmi:

- *MagMap 2000 v. 5.03* (Geomatrix Inc, USA): consente la localizzazione ed il processing preliminare dei dati;
- *Surfer v. 10.7.972* (Golden Software Inc, USA): esegue il gridding dei dati (metodo kriging) e la rappresentazione grafica delle sezioni tomografiche.

Specifiche tecniche della strumentazione elettromagnetica

Profiler System Includes:

- Profiler EM system with wireless, handheld computer
- 12-channel WAAS GPS (can also be integrated with external GPS)
- 2 batteries
- Battery charger
- Carrying strap
- Rugged transit case
- Instruction manual
- 2-year warranty

Physical Dimensions:

- Length: ~ 57.5 inches (1.46 m)
- Max. Width: ~ 9.5 inches (24 cm)
- Max. Height: ~ 4.9 inches (12.4 cm)
- Weight: ~ 10 pounds (4.535 kg)

Specifications:

Coil Spacing:	4 feet (91.219 m)
Operational Bandwidth:	1 kHz to 16 kHz
Records from 1 to 3 frequencies	
Measurement Values:	In-phase - PPM Quadrature - PPM Conductivity - mS/m
Memory	248.5 MB 180,000 continuous data points 360,000 discrete data points
Power:	Re-chargeable Lithium Ion battery or 8 (eight) AA batteries
Data Transfer:	Via Microsoft® Active Sync
Display:	2.2" x 2.9" color screen (5.58 x 7.36 cm)



www.geophysical.com • sales@geophysical.com

12 Industrial Way • Salem, NH 03079-4843
Tel: (603) 893-1109 • Fax: (603) 889-3984



**The World Leader in
Subsurface Imaging™**

Copyright © 2007 Geophysical Survey Systems, Inc.
November, 2007

Cenni teorici sulle indagini georadar

L'indagine mediante GPR (Ground Penetrating Radar) è una metodologia non invasiva che consente di ottenere una "immagine" del sottosuolo e che si basa sulla risposta di un segnale elettromagnetico di carattere impulsivo ad alta frequenza che viene inviato da un'antenna trasmittente. La presenza di discontinuità di proprietà elettromagnetiche del materiale provoca, infatti, fenomeni di rifrazione, riflessione e diffrazione dell'energia elettromagnetica incidente sulla discontinuità stessa. In generale, si analizza la risposta dell'onda elettromagnetica che viene riflessa in corrispondenza delle discontinuità del mezzo e che ritorna in superficie, dove viene captata da un'antenna ricevente.

La rappresentazione dei dati acquisiti avviene normalmente su un diagramma tempi-ampiezze del segnale ricevuto dal georadar. Spostando l'antenna lungo una direzione prestabilita e accostando i diversi diagrammi tempi-ampiezze per i successivi segnali, si ottengono delle sezioni georadar (radargrammi), in cui le ampiezze di riflessione sono rappresentate in funzione del tempo di andata e ritorno e della posizione dell'antenna lungo il profilo di acquisizione.

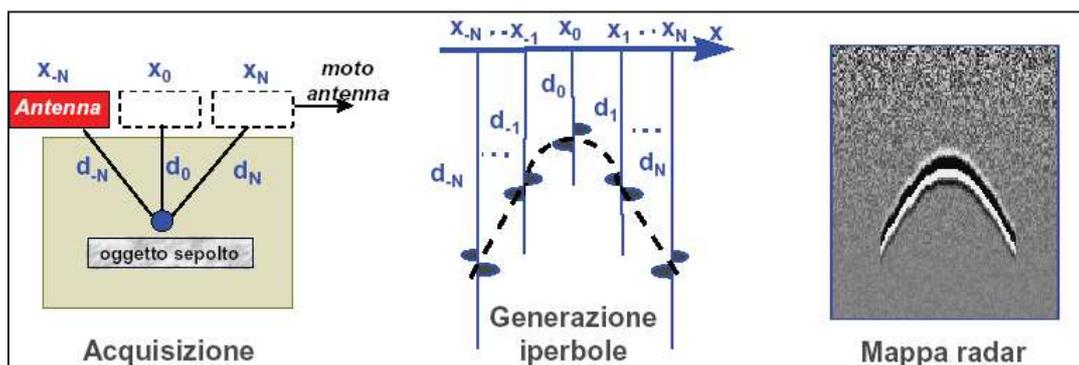


Figura 1 - Principio delle indagini geofisiche

Il metodo può essere utilizzato per numerose applicazioni, tra cui:

- individuazione di sottoservizi e strutture antropiche sepolte (cisterne interrato, fondazioni, ecc.);
- valutazioni geologiche;
- indagini archeologiche;
- valutazione dell'integrità strutturale di elementi architettonici.

La profondità di indagine non può essere stabilita a priori ma dipende in ogni caso dall'assorbimento dell'energia elettromagnetica da parte dei materiali in cui si propaga e quindi dalla natura dei mezzi attraversati, dallo stato fisico degli elementi che li compongono e da fattori ambientali e/o locali (temperatura, umidità, presenza di cavità, ecc.). Inoltre, l'obiettivo dell'indagine e la profondità di penetrazione sono vincolati alla lunghezza d'onda degli impulsi: se, ad esempio, una struttura sepolta ha piccole dimensioni, essa viene rilevata solo con segnali di breve durata la cui elevata

attenuazione a livello energetico ne limita però la penetrazione. In conclusione, la frequenza delle onde elettromagnetiche è inversamente proporzionale alla profondità di indagine, con grado di risoluzione differente: antenne ad alta frequenza hanno una bassa penetrazione del segnale radar, ma con elevato grado di risoluzione. Viceversa, antenne a più bassa frequenza mostrano un'elevata penetrazione del segnale radar, ma con minor grado di risoluzione (si veda Tabella 1).

Frequenza dell'antenna [MHz]	Penetrazione teorica in un suolo medio ($V = 0.09 \text{ m/ns}$) [m]	Risoluzione verticale [m]	Campi di impiego
1500	0.3	0.01	Rilievi su strutture in cls, murature, manti stradali
900	1	0.05	Rilievi su strutture in cls, murature, manti stradali
400-500	2-3	0.1	Ricerca archeologica e di sottoservizi, indagini su strade e rivestimenti di gallerie
200-300	5	0.2	Ricerca archeologica e di cavità su terreni e manufatti
100	8	0.5	Ricerca archeologica, di grossi bersagli profondi e di cavità, indagini stratigrafiche

Tabella 1 - Correlazione tra la frequenza di antenna utilizzata e la profondità massima teorica raggiungibile

La velocità di propagazione del segnale elettromagnetico è legata alla costante dielettrica relativa e alla permeabilità magnetica relativa del materiale. La presenza di acqua o umidità nei materiali in esame comporta un aumento della costante dielettrica relativa e quindi una diminuzione della velocità degli impulsi elettromagnetici. Esiste inoltre un fattore di perdita di segnale legato al grado di dispersività del mezzo, che può essere poco dispersivo o buon conduttore. Quando la frequenza dell'oscillazione del campo elettrico è sufficientemente elevata e la conducibilità del mezzo indagato è bassa, come nel caso di rocce e terreni, la corrente di spostamento prevale rispetto a quella di conduzione, la propagazione del segnale è di tipo ondulatorio e la dispersione può considerarsi nulla.

I valori della costante dielettrica e della velocità di propagazione di alcuni materiali sono riportati in Tabella 2.

I limiti di applicabilità del metodo sono legati a:

- condizioni di sito specifiche (ad esempio, presenza di pavimentazioni che non consentono la trasmissione del segnale elettromagnetico o, all'opposto, che comportano una forte riflessione superficiale – come in caso di presenza di reti metalliche – e quindi una diminuzione della penetrazione del segnale);
- costanti dielettriche dell'obbiettivo dell'indagine simili a quelle del materiale di contorno;
- presenza di materiali fini (argille e limi), che comportano un forte assorbimento dell'onda elettromagnetica;
- presenza di acqua e/o umidità nel terreno;
- presenza di fonti di emissione elettromagnetica nell'area circostante l'indagine (antenne televisive, telefoniche o cavi elettrici di media e alta tensione).

Materiale	Velocità di propagazione v [m/ns]	Costante dielettrica ϵ_r
Aria	0.3	1
Acqua dolce	0.033	81
Acqua di mare	0.033	81
Argilla	0.047 - 0.134	5-40
Argillite (bagnata)	0.113	7
Arenaria (bagnata)	0.112	6
Asfalto	0.134 - 0.173	3-5
Calcare	0.1-0.113	7-9
Calcestruzzo	0.055 - 0.112	6-30
Dolomia	0.106 - 0.155	6.8-8
Ghiaccio	0.160	4
Granito	0.160 - 0.120	5-8
PVC	0.173	3
Quarzo	0.145	4.3
Sabbia asciutta	0.12-0.16	3-6
Sabbia satura	0.055-0.06	25-30
Silt	0.055 - 0.134	5-30
Suolo argilloso	0.173	3
Suolo "medio"	0.075	16

Tabella 2 - Velocità di propagazione e costante dielettrica di alcuni materiali (Reynolds, 1997)

L'elaborazione standard dei dati viene effettuata mediante software dedicati, tramite l'applicazione di filtri validi al migliorare la qualità del segnale acquisito e a mettere in evidenza le eventuali anomalie presenti. Una sequenza di filtraggio tipica prevede i seguenti passaggi:

- sottrazione della media del segnale al fine di eliminare le basse frequenze presenti nell'acquisizione (*Subtract-mean*) e ottenere il recupero delle ampiezze;
- rimozione dell'ampiezza di riflessione media per eliminare quelle parti del segnale che si riferiscono all'arrivo delle onde dirette e alla riflessione della superficie su cui vengono trascinate le antenne (*Background Removal*);
- stima della velocità di propagazione del mezzo sulla base di iperboli di diffrazione dovute alla presenza di oggetti nel sottosuolo;
- rimozione dei primi ns delle tracce, relativi all'aria interposta tra l'antenna ed il suolo (*Move Start-time*);
- passaggio dalla scala dei tempi alla scala delle profondità.

Per ulteriori approfondimenti si rimanda alla letteratura specialistica (1,2).

(1) J. L. Davis e A. P. Annan, 1989 : "Ground penetrating radar for high resolution mapping of soil and rock stratigraphy", *Geophysical prospecting* 37, pp. 531-551.

(2) L. B. Conyers, D. Goodman, 2007; "Ground Penetrating Radar", *Aracne Ed.*

Specifiche tecniche della strumentazione georadar

TECHNICAL SPECIFICATIONS	
Data Logger	Panasonic CF-19 (or alternatively any Windows PC with an Ethernet LAN interface)
Radar Acquisition Unit	IDS DAD Fast Wave, with RIS K2 acquisition software
Max Number of Channels	Up to 8
Antenna Frequencies	400 and 900 MHz – 200 and 600 MHz
Positioning	Metric wheel and/or GPS interface
Collection Speed (up to 8 profiles simultaneously)	4 m/sec in full configuration (8 channels)
Battery Life	> 8 h
Weight	58 kg in full configuration
Surface Footprint	200 cm x 60 cm (full configuration)
Survey Path Width	Up to 8 radar scans, 52 cm each
Wireless Connection	Available
Environment	IP65
SOFTWARE SPECIFICATIONS	
Processing Software	GRED 3D Utilities including: Automatic target detection Automatic data processing Automatic propagation velocity estimation 2D/3D representation Data fusion for different frequencies and directions Irregular volume representation Iso-surface Map
Output Data	Excel, ASCII, HDF5, jpg, bmp

Arrivo: AOO 055, N. Prot. 00001407 del 07/06/2022